

Unjuk Kerja *Fiber Metal Laminate Aluminium-Fiberglass-Bambu Terhadap Impak Berkecepatan Rendah*

L. Rhangga Aditya Warman, Sugiman*, Agus Dwi Catur

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram
Jln. Majapahit No.62 Mataram Nusa Tenggara Barat Kode Pos: 83125
Telp. (0370) 636087; 636126; ext 128 Fax (0370) 636087
*Email: s.sugiman@tm.ftunram.ac.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui unjuk kerja komposit hybrid fibre metal laminate yang terbuat dari aluminium-bambu-fibreglass akibat impak kecepatan rendah. Penelitian ini menggunakan bambu tali anyam (Bb), fibreglass anyam (Fb) dan aluminium (Al) 2xxx. Adhesive yang digunakan adalah epoxy. Konfigurasi yang dipelajari adalah Al/Fb-3/2, Al/Bb-3/2, [Al/Bb/Fb/Bb/Al*]_s, dan [Al/Fb/Bb/Fb/Al*]_s. Simbol * menunjukkan letak sumbu simetri. Setiap specimen diuji impak dengan metode *drop weight*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa unjuk kerja impak untuk laminate yang mengandung fibreglass lebih banyak lebih baik dibanding laminate yang mengandung lebih banyak bambu ditunjukkan dengan defleksinya yang lebih rendah. Namun perbedaan defleksi cenderung menjadi lebih kecil dengan semakin meningkatnya energi impak dan menjadi tidak signifikan saat impaktor telah menembus laminate (perforasi). Jenis kegagalan impak yang terjadi adalah delaminasi di sekitar daerah impak dan juga perforasi.

Kata kunci: komposit *laminat hybrid*, impak kecepatan rendah, aluminium, *fibreglass*, bambu, *epoxy*.

Pendahuluan

Fibre metal laminate telah banyak digunakan di industri pesawat terbang karena sifat mekaniknya yang sangat baik dan juga ringan. Di samping kekuatan tarik yang tinggi (500 MPa) [1-3], dan tahan terhadap pembebanan lelah, fibre metal laminate mempunyai keunggulan yang lain seperti ketahanan terhadap beban impak yang tinggi [4,5] dan ketahanan terhadap kebakaran yang baik [6] dan tahan ledakan [7]. Serat yang umum dipakai untuk pembuatan fibre metal laminate adalah fibreglass jenis S2 yang mempunyai kekuatan tarik hampir 2000 MPa. Namun serat-serat yang lain juga sudah mulai digunakan seperti serat karbon [8-9], dan polipropelen [5,10,11]. Metal yang digunakan adalah aluminium karena aluminium mempunyai beberapa keunggulan; di samping mempunyai sifat mekanik yang baik juga ringan dan tahan korosi.

Penggunaan serat alam untuk pembuatan fibre metal laminate juga mulai telah dilakukan seperti strip bambu untuk pembuatan komposit sandwich dengan kulit aluminium 2024-T3 dan menghasilkan kekuatan tarik 370 MPa [12]. Kalapaksi dkk [13] meneliti kekuatan tarik dan tekan fibre metal laminate aluminium-fibreglass-bambu dan menghasilkan kekuatan tarik dan tekan sekitar 97 MPa dan 70 MPa. Zaen dkk [14]

juga meneliti specimen yang sama seperti Kalapaksi dkk namun mereka fokus ke pengujian kekuatan bendungnya. Kekuatan bending yang dihasilkan adalah 93 MPa. Dalam paper ini fibre metal laminate seperti yang diteliti oleh Kalapaksi dkk dan Zaen dkk dipelajari kekuatan impaknya secara *drop weight*. Ketahanan terhadap kerusakan dipelajari dan juga mode kegagalannya.

Metode Penelitian

Konfigurasi komposit laminat hybrid yang digunakan dalam penelitian ini adalah Al/Fb-3/2, Al/Bb-3/2, [Al/Bb/Fb/Bb/Al*]_s, dan [Al/Fb/Bb/Fb/Al*]_s. Metode pembuatan specimen ini secara detil dapat ditemukan di Kalapaksi dkk [13]. Specimen uji impak adalah lebar 100 mm, panjang 300 mm dan tebal sesuai dengan konfigurasi specimen. Hanya dua sisi yang dijepit dalam uji impak dan panjang daerah specimen yang dijepit adalah 100 mm, sehingga daerah ukurnya adalah (100 x 100) mm². Uji impak *drop weight* yang digunakan adalah buatan sendiri, dengan impaktor dari baja berdiameter 12,5 mm (Gambar 1a). Energi impak divariasikan 25 J; 37,5 J dan 50 J untuk konfigurasi Al/Fb-3/2, dan Al/Bb-3/2. Sedang untuk konfigurasi [Al/Bb/Fb/Bb/Al*]_s, dan [Al/Fb/Bb/Fb/Al*]_s, energi yang digunakan adalah 37,5 J; 56 J dan 75

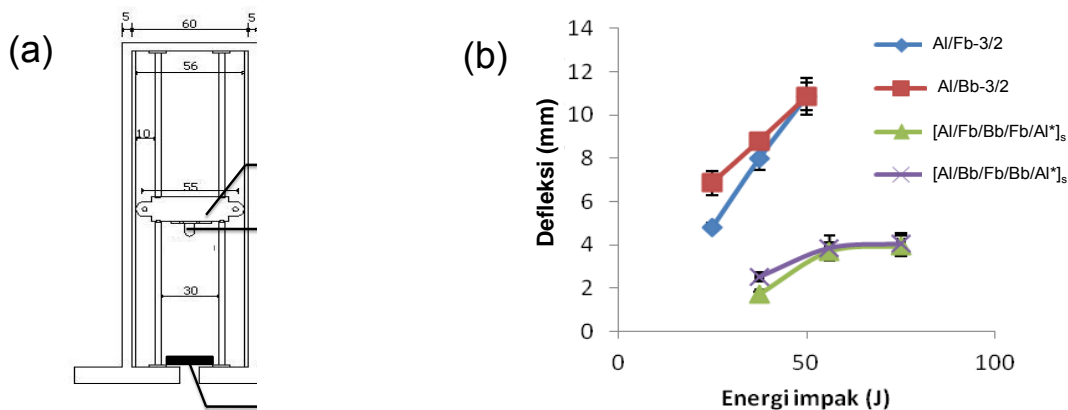
J. Energi tersebut diperkirakan dari energi potensial massa yang berubah menjadi energi kinetik ketika menumbuk spesimen. Nilai perkiraan tersebut mempunyai kelemahan seperti tidak memperhitungkan kehilangan energi akibat gesekan antara pendukung luncuran beban dan massa yang meluncur, namun kehilangan energi karena gesekan tersebut telah diminimalkan dengan memberi pelicin pada pendukung luncuran. Alat yang dipakai juga mempunyai kekurangan seperti tidak ada alat ukur gaya pada impaktor dan juga tidak adanya alat ukur kecepatan sesaat sebelum impaktor menumbuk spesimen. Pada pengujian ini data yang diperoleh berupa defleksi, dan energi perforasi (energi yang diperlukan untuk menembus laminat) akibat beban impact. Karena terbatasnya peralatan untuk melihat kerusakan laminate yang biasanya terjadi di dalam laminate di sekitar daerah tumbukan, seperti delaminasi, defleksi menjadi parameter terukur dan kerusakan dilihat setelah spesimen dipotong melalui daerah impact. Defleksi ini menjadi indikasi awal unjuk kerja fiber metal laminate ini.

Defleksi hasil impact diukur dengan menggunakan jangka sorong dari daerah jepit sampai ke tempat impact terjadi. Daerah terkena impact mengalami deformasi dan bentuk deformasi diphoto, kemudian dibandingkan untuk setiap energi uji impact. Setelah dibatasi dan

untuk mengetahui besarnya kerusakan delaminasi di daerah uji impact.

Hasil dan Pembahasan

Defleksi. Gambar 1b menunjukkan nilai defleksi dari komposit dengan meningkatnya energi impact. Untuk konfigurasi yang lebih tipis (Al/Fb-3/2 dan Al/Bb-3/2) defleksi hampir linier dengan meningkatnya energi impact, sedang pada konfigurasi yang lebih tebal ($[Al/Fb/Bb/Fb/Al^*]_s$ dan $[Al/Bb/Fb/Bb/Al^*]_s$), dengan meningkatnya energi defleksi menjadi mendatar pada energi impact tertentu (56 J). Pada energi yang lebih rendah terdapat perbedaan defleksi antara Al/Fb-3/2 dan Al/Bb-3/2, dengan defleksi Al/Bb-3/2 lebih rendah dari Al/Fb-3/2, tetapi dengan meningkatnya energi perbedaan tersebut menjadi menjadi mengecil dan tidak signifikan pada energi perforasi. Hal itu menunjukkan bahwa pada energi perforasi, pengaruh konfigurasi menjadi tidak signifikan. Kecenderungan yang sama juga ditunjukkan oleh konfigurasi yang lebih tebal, $[Al/Fb/Bb/Fb/Al^*]_s$ dan $[Al/Bb/Fb/Bb/Al^*]_s$, namun kedua konfigurasi tersebut mempunyai defleksi yang jauh lebih rendah dari konfigurasi yang lebih tipis (Al/Fb-3/2 dan Al/Bb-3/2). Hal itu disebabkan karena sifat mekanik komposit fiberglass/epoxy lebih tinggi (kekuatan tarik 110-146 MPa) dibandingkan dengan bambu



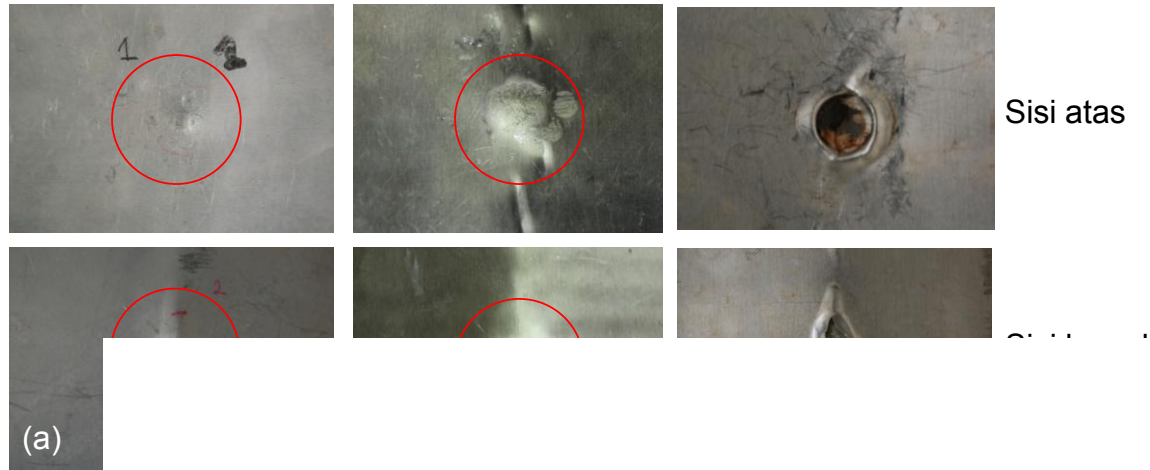
Gambar 1. (a) Skema alat uji *drop weight*, (b) Defleksi hasil uji impact.

Kegagalan Konfigurasi Al/Fb-3/2. Kegagalan spesimen Al/Fb-3/2 hasil pengujian impact berkecepatan rendah ini dapat diamati dengan melihat bagian atas dan bawah spesimen. Ada tiga energi pengujian yaitu 25 J, 37,5 J dan 50 J. Kegagalan dari masing – masing energi dapat

dilihat pada Gambar 2. Pada energi 25 J bentuk kerusakan permukaan (pada Gambar 2a) hanya terjadi deformasi seperti kawah dan mengalami retak pada bagian bawah spesimen dan belum mengalami kerusakan total. Dengan meningkatnya energi ke 37,5 J terjadi penambahan diameter

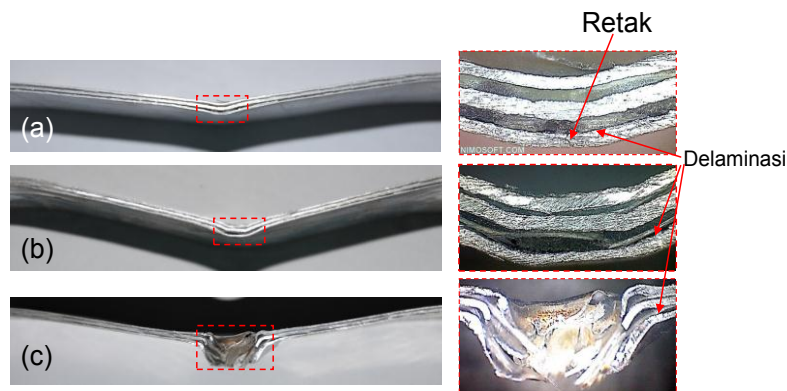
kawah dan defleksi. Namun retak yang dialami tidak terlalu mengalami perubahan (Gambar 2b). Pada energi 50 J (Gambar 2c), jelas terlihat bahwa terjadi proses perforasi signifikan baik di lapisan

aluminium maupun di lapisan komposit. Daerah yang terkena dampak membentuk lubang tembus dan delaminasi terjadi di sekitar daerah lubang tersebut.



Gambar 2. I

J.

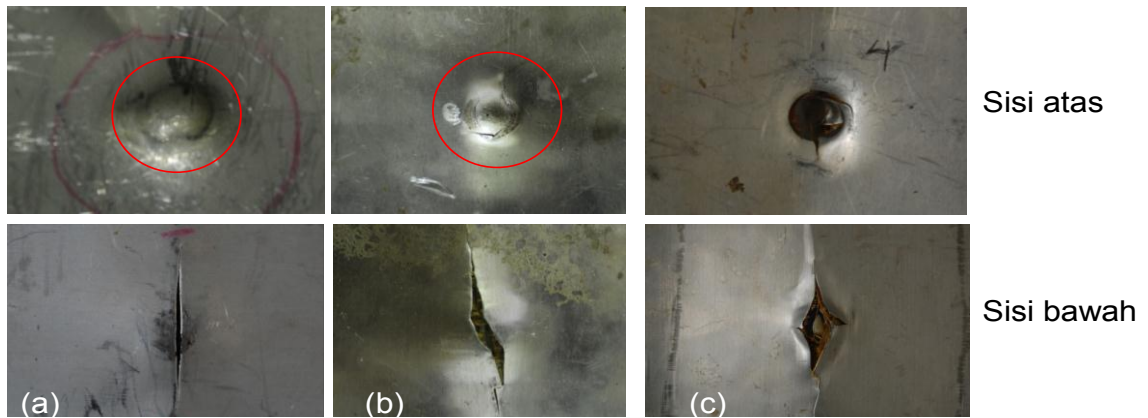


Gambar 3. Potongan melintang spesimen Al/Fb-3/2 (anyam) setelah uji dampak pada energi dampak (a) 25 J, (b) 37,5 J, dan (c) 50 J.

Gambar 3 menunjukkan hasil potongan spesimen Al/Fb-3/2 di tengah daerah dampak. Pada energi dampak 25 J spesimen mengalami kawah di daerah dampak. Diameter kawah tersebut bertambah dengan meningkatnya energi dampak ke 37,5 J dan kemudian pada energi dampak 50 J, delaminasi terlihat di sekitar daerah yang tembus.

Kegagalan Konfigurasi Al/Bb-3/2. Gambar 4 menunjukkan foto kegagalan spesimen Al/Bb-3/2 dengan meningkatnya energi dampak. Pada energi dampak 25 J spesimen sudah mengalami retak di

bagian bawah. Jika dibandingkan dengan konfigurasi Al/Fb-3/2 pada energi sama, retakan tersebut lebih besar. Hal itu disebabkan karena sifat mekanik bambu yang lebih rendah dari fiberglass. Pada energi dampak 37,5 J terlihat terjadi penambahan diameter kawah dan luas retak pada bagian bawah spesimen. Pada Gambar 4c pada energi yang lebih tinggi jelas terlihat permukaan komposit terjadi perforasi yang meninggalkan lubang yang relative bulat dan retak.



Gambl

c) 50 J.

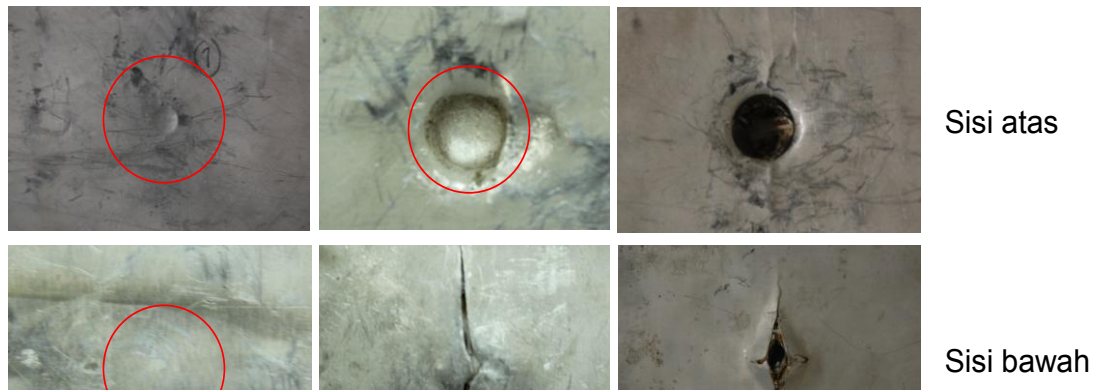


Gambar 5. Potongan melintang spesimen Al/Bb-3/2 (anyam) setelah uji impact pada energi impact (a) 25 J, (b) 37,5 J, dan (c) 50 J.

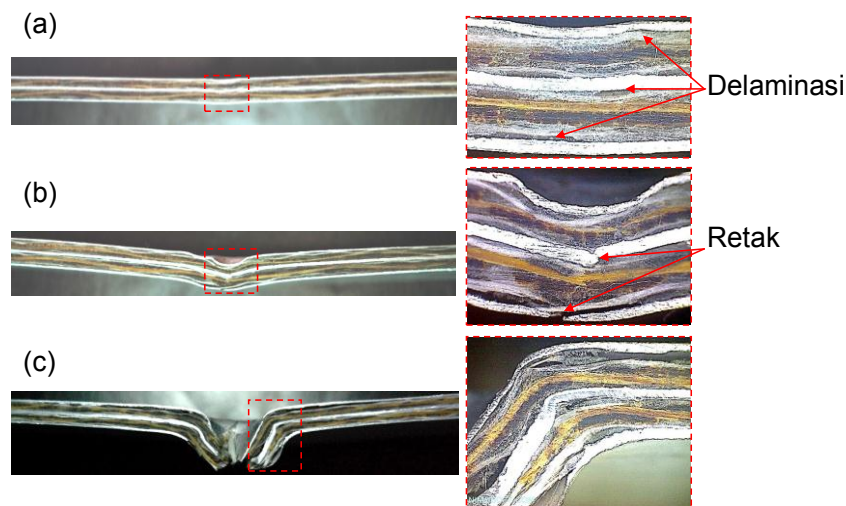
Gambar 5 menunjukkan photo hasil potongan spesimen Al/Bb-3/2. Pada energi impact 25 J pada (Gambar 5a) terjadi delaminasi antar lapisan dan mengalami retak pada permukaan aluminium bagian bawah spesimen. Pada Gambar 4.5b hasil dari energi impact 37,5 J retak yang terjadi lebih besar dan kawah dari spesimen semakin besar. Pada energi impact 50 J, terlihat pada Gambar 5c, hampir di setiap lapisan di daerah perforasi pada spesimen mengalami delaminasi.

Kegagalan Konfigurasi [Al/Fb/Bb/Fb/Al*]_s. Penambahan konfigurasi lapisan mengakibatkan penambahan ketebalan pada spesimen yang

berpengaruh pada kekuatan impact. Pada konfigurasi [Al/Fb/Bb/Fb/Al*]_s terjadi kenaikan unjuk kerja impact dibandingkan Al/Fb-3/2 dan Al/Bb-3/2. Pada Gambar 6a, energi impact 37,5 J, spesimen belum mengalami kerusakan hanya terjadi kawah pada spesimen. Peningkatan energi impact ke 56 J (Gambar 6b) spesimen sudah mengalami kerusakan tetapi belum mengalami perforasi, hanya saja kawah semakin luas dan dalam yang mengakibatkan retak pada permukaan bawah spesimen. Pada energi 75 J (Gambar 6c) spesimen sudah mengalami perforasi dan terjadi delaminasi di sekitar daerah perforasi.



) 56 J, dan

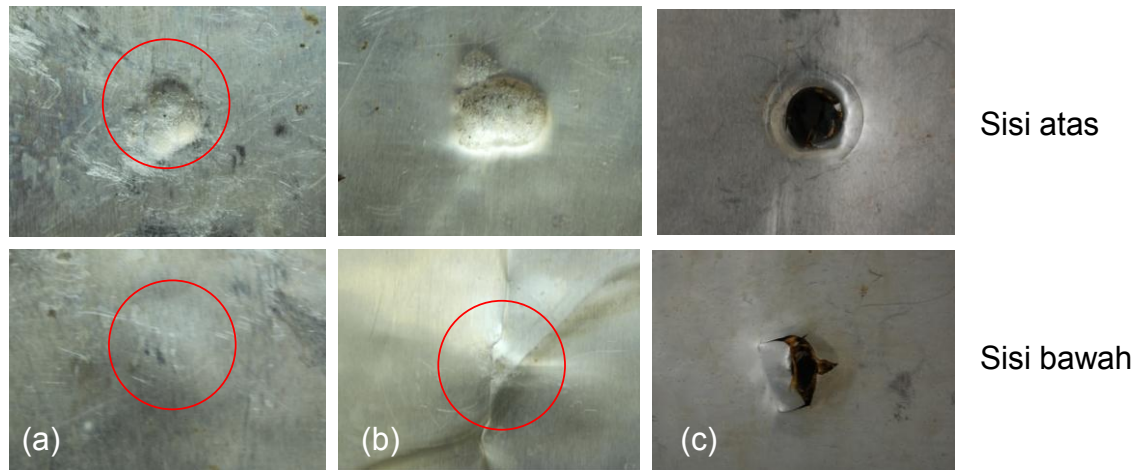


Gambar 7. Potongan melintang spesimen [Al/Fb/Bb/Fb/Al*]_s setelah uji impact pada energi impact (a) 37,5 J, (b) 56 J, dan (c) 75 J.

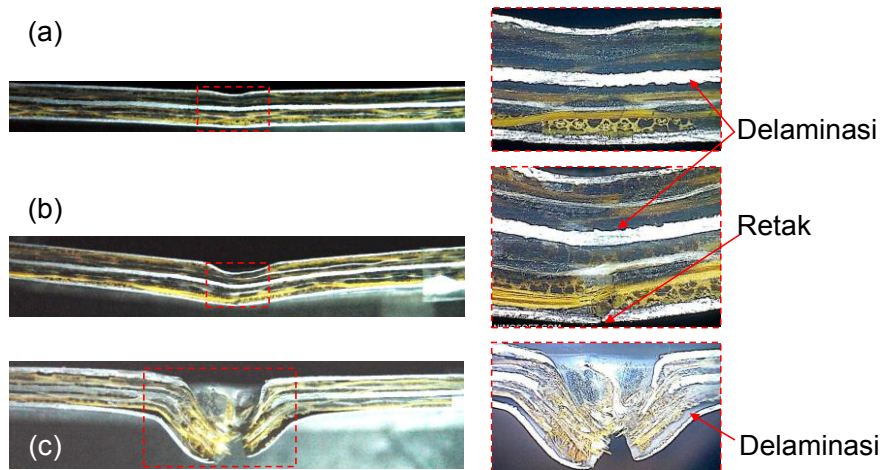
Photo potongan hasil uji impact spesimen [Al/Fb/Bb/Fb/Al*]_s ditampilkan pada Gambar 7. Terlihat bahwa pada energi impact 37,5 J pada spesimen terbentuk kawah dan juga delaminasi di tengah kawah tersebut. Untuk energi impact 56 J (Gambar 7b) delaminasi pada lapisan permukaan atas dan bawah bertambah, dan juga penambahan luas dan kedalaman kawah. Peningkatan energi mencapai 75 J menyebabkan spesimen mengalami perforasi. Delaminasi menyebar di sekeliling daerah perforasi.

Kegagalan Konfigurasi [Al/Bb/Fb/Bb/Al*]_s. Kegagalan dari konfigurasi [Al/Bb/Fb/Bb/Al*]_s pada Gambar 8a tidak jauh berbeda dengan dampak kegagalan pada konfigurasi [Al/Fb/Bb/Fb/Al*]_s. Kegagalan pada energi 37,5 J

hanya terjadi kawah lokal pada permukaan atas spesimen dan belum mengalami retak di bagian bawah permukaan sehingga peningkatan energi perlu dilakukan untuk menimbulkan perforasi. Pada Gambar 8b dampak peningkatan energi sangat jelas terlihat pada spesimen ini. Pada energi 56 J, kawah yang terbentuk pada permukaan bagian atas semakin luas dan dalam dan telah terjadi retak pada permukaan bagian bawah. Pada energi sampai 75 J (Gambar 8c) spesimen sudah mengalami perforasi. Dari pengamatan yang dilakukan pada daerah perforasi, terlihat lubang bulat bersih di bagian atas spesimen dan di permukaan bagian bawah mengalami retak, tetapi tidak sebesar pada konfigurasi [Al/Fb/Bb/Fb/Al*]_s.



Gambar 8. Bekas uji *drop weight* spesimen $[Al/Bb/Fb/Bb/Al^*]_s$ pada energi impact (a) 37,5 J, (b) 56 J,



Gambar 9. Potongan melintang spesimen $[Al/Bb/Fb/Bb/Al^*]_s$ setelah uji impact pada energi impact (a) 37,5 J, (b) 56 J, dan (c) 75 J.

Dari pengamatan photo potongan spesimen $[Al/Bb/Fb/Bb/Al^*]_s$ deformasi yang terjadi pada konfigurasi ini hampir sama dengan konfigurasi $[Al/Fb/Bb/Fb/Al^*]_s$. Pada Gambar 9a dengan energi impact energi 37,5 J, hanya terjadi kawah kecil dan belum mengalami delaminasi. Untuk energi impact 56 J (Gambar 9b), terjadi delaminasi pada lapisan permukaan bawah spesimen dan juga terjadi penambahan diameter dan kedalaman kawah. Peningkatan energi mencapai 75 J menyebabkan spesimen mengalami perforasi. Delaminasi menyebar di sekeliling daerah perforasi.

Kesimpulan

Pengujian impact kecepatan rendah secara *drop weight* telah dilakukan pada fibre metal laminate dari aluminium-bambu-fibreglass. Untuk spesimen yang tipis semakin tinggi energi impact yang diberikan maka defleksi yang terjadi pada spesimen yang dipelajari semakin bertambah hampir secara linier, tetapi untuk konfigurasi yang

lebih tebal semakin tinggi energi impact ada energi tertentu ketika defleksi menjadi cenderung konstan. Secara umum komposit laminat yang mengandung fibreglass lebih banyak mengalami defleksi yang lebih rendah dibandingkan dengan komposit laminat yang memiliki bambu yang lebih banyak. Namun perbedaan defleksi tersebut semakin mengecil dengan meningkatnya energi impact dan menjadi tidak signifikan pada energi perforasi. Telah terjadi perforasi pada energi sekitar 50 J untuk $Al/Fb-3/2$ dan $Al/Bb-3/2$, sedangkan energi sekitar 75 J untuk $[Al/Bb/Fb/Bb/Al^*]_s$, dan $[Al/Fb/Bb/Fb/Al^*]_s$. Terjadi delaminasi yang ekstensif di sekitar daerah impact untuk semua konfigurasi.

Referensi

- [1] M. Kawai, K. Morishita, M. Tomura, K. Takumida, Inelastic behaviour and strength of fibre-metal hibrid composite: GLARE, *Int. J. Mech. Sciences* 40 (1998) 183-198.
- [2] S. Sugiman, A.D. Crocombe, K.B. Katnam, Investigating the static response of hybrid fibre-metal laminate bonded structures, *Composite Part B: Engineering* 42 (2011) 1867-1884.
- [3] S. Sugiman, A.D. Crocombe, The static and fatigue response of metal laminate and hybrid fibre-metal laminate doublers joints under tension loading, *Composite Structures* 94 (2012) 2937-2957.
- [4] P. Cortes, W.J. Cantwell, The fracture properties of a fibre-metal laminate based on magnesium alloy. *Composites B* 37 (2006) 163–70.
- [5] V.G. Reyes, W.J. Cantwell, The mechanical properties of fibre-metal laminates based on glass fibre reinforced polypropylene. *Compos Sci Technol* 60 (2000) 1085–94.
- [6] A. Vlot, L.B. Voegesang, T.J. de Vries, Towards application of fibre metal laminates in large aircraft, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology* 71 (1999) 558-570.
- [7] G.S. Langdon, W.J. Cantwell, G.N. Nurick, The blast response of novel thermoplastic-based fibre-metal laminates – some preliminary results and observations. *Compos Sci Technol* 65 (2005) 861–72.
- [8] C.T. Lin, P.W. Kao, Effect of fibre bridging on the fatigue crack propagation in carbon fibre-reinforced aluminum laminates. *Mater Sci Eng A* 190 (1995) 65–73.
- [9] C.T. Lin, P.W. Kao, Fatigue delamination growth in carbon fibre-reinforced aluminium laminates, *Composites A* 27 (1996) 9–15.
- [10] G. Reyes, H. Kang, Mechanical behavior of lightweight thermoplastic fibre-metal laminates. *J Mater Process Technol* 186 (2007) 284–90.
- [11] M.R. Abdullah, W.J. Cantwell, The impact resistance of polypropylene-based fibre-metal laminates, *Composites Science and Technology* 66 (2006) 1682–1693.
- [12] J.Y. Zhang, Q.Y. Zeng, T.X. Yu, J.K. Kim, Residual properties of reformed bamboo/aluminium laminate properties after hygrothermal aging, *Composite Science and Technology* 61 (2001) 1041-1048.
- [13] G. Kalapaksi, P.D. Setyawan, Sugiman, A.D. Catur, M.F. Ramadhani, Kekuatan tarik dan tekan komposit laminat hibrid aluminium-fibreglass-bambu, *Proceeding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke-20*, Yogyakarta 23 Mei 2014.
- [14] U. Zaen, Sugiman, P.D. Setyawan, Investigasi kekuatan bending komposit laminat Aluminium – fibreglass – bambu, *Proceeding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri ke-20*, Yogyakarta 23 Mei 2014.